

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2019年9月19日(19.09.2019)



(10) 国際公開番号

WO 2019/176655 A1

(51) 国際特許分類:
G05B 13/02 (2006.01) G06N 20/00 (2019.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2019/008649

(22) 国際出願日: 2019年3月5日(05.03.2019)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(30) 優先権データ:
特願 2018-047856 2018年3月15日(15.03.2018) JP

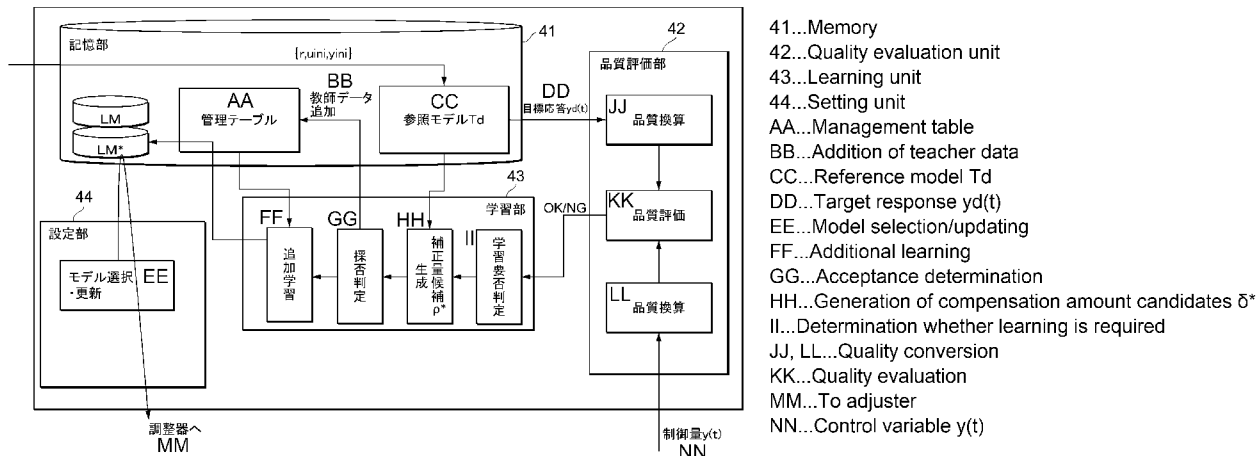
(71) 出願人: オムロン株式会社 (OMRON CORPORATION) [JP/JP]; 〒6008530 京都府京都市下京区塩小路通堀川東入南不動堂町801番地 Kyoto (JP).

(72) 発明者: 藤井 高史 (FUJII, Takashi); 〒6008530 京都府京都市下京区塩小路通堀川東入南不動堂町801番地 オムロン株式会社内 Kyoto (JP). 上山 勇樹 (UEYAMA, Yuki); 〒6008530 京都府京都市下京区塩小路通堀川東入南不動堂町801番地 オムロン株式会社内 Kyoto (JP). 阿部 泰明 (ABE, Yasuaki); 〒6008530 京都府京都市下京区塩小路通堀川東入南不動堂町801番地 オムロン株式会社内 Kyoto (JP). 阪谷 信幸 (SAKATANI, Nobuyuki); 〒6008530 京都府京都市下京区塩小路通堀川東入南不動堂町801番地 オムロン株式会社内 Kyoto (JP). 今竹 和彦 (IMATAKE, Kazuhiko); 〒6008530 京都府京都市下京区塩小路通堀川東入南不動堂町801番地 オムロン株式会社内 Kyoto (JP).

(54) Title: LEARNING DEVICE, LEARNING METHOD, AND PROGRAM THEREFOR

(54) 発明の名称: 学習装置、学習方法、及びそのプログラム

40



(57) Abstract: Provided is a technology for efficiently learning an appropriate compensation amount for generating a command value to be imparted to a control object in predictive control of a control system which performs processing and assembly of an object to be processed. This learning device provides a learned model to an adjuster which includes a learned model learned in such a manner that a predetermined adjustment amount with respect to a controller on the basis of parameters of an object to be processed, in a system equipped with a controller that outputs a command value obtained by compensating a target value on the basis of a compensation amount; and an object to be controlled, which is controlled so as to perform a predetermined process with respect to an object to be processed, the object to be controlled having command values input from the controller, and a control variable output as a response to said command value. The learning device comprises: a learning unit which generates candidate compensation amounts on the basis of operation data including a target value, command value and control variable, performs learning of the generated candidate compensation amounts and the parameters of the object to be processed as teacher data, and generates or updates the learned model; and

(74) 代理人: 稲葉 良幸, 外(INABA, Yoshiyuki et al.);
〒1066123 東京都港区六本木 6 - 1 0 -
1 六本木ヒルズ森タワー 23 階 T M I
総合法律事務所 Tokyo (JP).

(81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第21条(3))

a setting unit which provides, to the adjuster, the learned model which has been generated or updated.

(57) 要約: 処理対象物に対して加工・組立等の処理を行う制御系の予測制御において、制御対象に与える指令値を生成するための適切な補正量を効率的に学習する技術を提供する。補正量に基づいて目標値を補正した指令値を出力するコントローラと、処理対象物に対して所定の処理をするよう制御される制御対象であって、コントローラから出力される指令値が入力され、当該指令値の応答として制御量が出力される制御対象と、を備える制御系において、処理対象物のパラメータに基づいて、コントローラに対して所定の補正量を出力するように学習された学習済みモデルを含む調整器に対して、学習済みモデルを提供する学習装置であって、目標値、指令値及び制御量を含む動作データに基づいて、補正量候補を生成し、生成した補正量候補と、処理対象物のパラメータとを教師データとして学習を行い、学習済みモデルを生成又は更新する学習部と、生成又は更新された学習済みモデルを、調整器に提供する設定部と、を備える。

明 細 書

発明の名称 : 学習装置、学習方法、及びそのプログラム

技術分野

[0001] 本発明は、学習装置、学習方法、及びそのプログラムに関する。

背景技術

[0002] プレス機械等の制御装置を用いて材料の加工・組立等を行った場合、通常、一度加工等を行った材料は元に戻せない。したがって、同一の材料に対して繰り返し加工等を行いながら、適切に制御量を調整することはできない。そのため、材料の性質と制御入力の間関係を定量化し、新しく加工等を行うときに適切な制御入力を与え、適切な制御量を得ることが重要となる。

[0003] 例えば特許文献1には、プレス加工品を製造するにあたり、板厚のばらつきの影響を低減可能なプレスシステムが開示されている。特許文献1のプレスシステムは、プレス機械と、このプレス機械にワークを供給する供給装置とから構成されており、ワークの板厚情報をプレス機械によるプレス前に入手する板厚入手手段と、当該板厚入手手段からの板厚情報によりプレス機械のダイハイト(H)を設定するダイハイト設定手段とを備えている。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：特開2005-211928号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] ところで、特許文献1に記載されるプレスシステムでは、想定されるすべての板厚ごとに、実際のプレス機械で複数回試行錯誤することによって、設定すべき最適なダイハイトを調整する必要がある。また、実際にプレス機械等の処理対象物に対して加工・組立等の処理を行う制御系において、ダイハイト等の制御量の適性値は、板厚に限らず、処理対象物の硬度や温度、材質など、処理対象物に関する様々なパラメータの影響を受けることがある。こ

のような様々なパラメータのすべての組み合わせに対して、実際に実機で複数回試行錯誤して適切な制御量を得るための補正量を調整するには、膨大な時間を要してしまう。

[0006] そこで、本発明は、処理対象物に対して加工・組立等の処理を行う制御系の予測制御において、制御対象に与える指令値を生成するための適切な補正量を効率的に学習する技術を提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0007] 本発明の一側面に係る学習装置は、補正量に基づいて目標値を補正した指令値を出力するコントローラと、処理対象物に対して所定の処理をするよう制御される制御対象であって、コントローラから出力される指令値が入力され、当該指令値の応答として制御量が出力される制御対象と、を備える制御系において、処理対象物の特定のパラメータに基づいて、コントローラに対して所定の補正量を出力するように学習された学習済みモデルを含む調整器に対して、学習済みモデルを提供する学習装置であって、目標値、指令値及び制御量を含む動作データに基づいて、補正量候補を生成し、生成した補正量候補と、処理対象物の特定のパラメータとを教師データとして学習を行い、学習済みモデルを生成又は更新する学習部と、生成又は更新された学習済みモデルを、調整器に提供する設定部と、を備える。この態様によると、学習装置は、制御対象を実際に動作させることなく補正量候補を生成するため、処理対象物を準備したり破損させたりすることなく、効率的に学習することができる。なお、「パラメータ」は、処理対象物の特徴量や物理量、その他の任意の数値情報を含む。特徴量は、例えば処理対象物の材質等であり、物理量は例えば、処理対象物の硬度や温度等である。

上記構成において、学習部は、データ駆動制御によって補正量候補を生成してもよい。このとき、データ駆動制御としては、VRFT、FRIT又はERITのいずれかを用いてもよい。この態様によると、学習部は、VRFTやFRIT、ERIT等のデータ駆動制御の手法を用いることにより、制御対象の動特性モデルを求めることなく補正量候補を生成し、教師データを

生成することが可能となる。これによって、学習装置は、制御対象の実際の動作を繰り返し行わせることなく補正量候補を生成することが可能になる。この結果、学習装置は、処理対象物を準備したり破損させたりすることなく、より効率的に学習を行うことができる。

[0008] また、学習部は、生成した補正量候補が、学習済みモデルが学習に用いた教師データに含まれる補正量候補から所定の閾値以上離れた値でない場合、又は、学習済みモデルが学習に用いた教師データに含まれる補正量候補の範囲内である場合に当該補正量候補を採用するように構成されてよい。これによって、学習部が生成した補正量候補が、不適切であった場合に不要な学習を行うことを防ぐことができる。

[0009] また、学習済みモデルが出力した補正量に基づいて目標値を補正した指令値を、制御対象に与えたときの制御量を含む動作データを取得して、制御量の品質を評価する評価部をさらに備え、学習部は、品質の評価が、許容範囲に満たない場合に、学習を行うように構成されてよい。また、学習部は、処理対象物の特定のパラメータが、教師データとしてすでに学習されたパラメータから所定の閾値以上離れた値である場合に学習を行うように構成されてよい。これによって、現在の学習済みモデルで対応可能な処理対象物に対して、学習部が不要な学習を行うことを防ぐことができる。

[0010] 本発明の一側面に係る学習方法は、補正量に基づいて目標値を補正した指令値を出力するコントローラと、処理対象物に対して所定の処理をするよう制御される制御対象であって、コントローラから出力される指令値が入力され、当該指令値の応答として制御量が出力される制御対象と、を備える制御系において、処理対象物の特定のパラメータに基づいて、コントローラに対して所定の補正量を出力するように学習された学習済みモデルを含む調整器に対して、学習済みモデルを提供する学習装置において実行される学習方法であって、学習装置が、目標値、指令値及び制御量を含む動作データに基づいて、補正量候補を生成し、補正量候補が所定の採用基準を満たす場合は、生成した補正量候補と、処理対象物の特定のパラメータとを教師データとし

て学習を行い、学習済みモデルを生成又は更新するステップと、生成又は更新された学習済みモデルを、前記調整器に提供するステップと、を実行する。

[0011] 本発明の一側面に係るプログラムは、補正量に基づいて目標値を補正した指令値を出力するコントローラと、処理対象物に対して所定の処理をするよう制御される制御対象であって、コントローラから出力される指令値が入力され、当該指令値の応答として制御量が出力される制御対象と、を備える制御系において、処理対象物の特定のパラメータに基づいて、コントローラに対して所定の補正量を出力するように学習された学習済みモデルを含む調整器に対して、学習済みモデルを提供する学習装置を機能させるプログラムであって、学習装置を、目標値、指令値及び制御量を含む動作データに基づいて、補正量候補を生成し、補正量候補が所定の採用基準を満たす場合は、生成した補正量候補と、処理対象物の特定のパラメータとを教師データとして学習を行い、学習済みモデルを生成又は更新する手段、及び生成又は更新された学習済みモデルを、前記調整器に提供する手段として機能させる。

発明の効果

[0012] 本発明によれば、処理対象物に対して加工・組立等の処理を行う制御系の予測制御において、制御対象に与える指令値を生成するための適切な補正量を効率的に学習する技術を提供することができる。

図面の簡単な説明

[0013] [図1]本発明の一実施形態に係る制御システムのシステム構成例を示す模式図である。

[図2]本発明の一実施形態に係る学習装置の機能構成例を示すブロック図である。

[図3]本発明の一実施形態に係る管理テーブルの一例を示す図である。

[図4]本発明の一実施形態に係る管理図の一例を示す図である。

[図5]本発明の一実施形態に係る学習装置の処理の一例を説明するためのフローチャートである。

[図6]本発明の一実施形態に係る学習装置のハードウェア構成を示す模式図である。

[図7]本発明の別の実施形態に係る制御システムのシステム構成例を示す模式図である。

発明を実施するための形態

[0014] [実施形態]

以下、本発明の一側面に係る実施の形態（以下「本実施形態」とも表記する）を、図面に基づいて説明する。ただし、以下で説明する実施形態は、あらゆる点において本発明の例示に過ぎない。本発明の範囲を逸脱することなく種々の改良や変形を行うことができることは言うまでもない。つまり、本発明の実施にあたって、実施形態に応じた具体的構成が適宜採用されてもよい。なお、本実施形態において登場するデータを自然言語により説明しているが、より具体的には、コンピュータが認識可能な疑似言語、コマンド、パラメータ、マシン語等で指定される。

[0015] § 1 適用例

まず、図1を参照しながら、本発明が適用される場面の一例について説明する。図1は本発明に係る制御システム1の構成の一例を示す図である。制御システム1は、コントローラ10と、サーボ機構20と、調整器30と、学習装置40とを備えている。

[0016] コントローラ10は、調整器30から出力された補正量 ρ に基づいて目標値 $r(t)$ を補正した指令値 $u(t)$ を生成して、サーボ機構20に出力する。目標値 $r(t)$ は、コントローラ10によって生成（記憶された目標値を用いることを含む）されてもよいし、外部からコントローラ10に与えられてもよい。コントローラ10の伝達関数 $C(\rho)$ とすると、コントローラ10では、以下の式(1)に示す演算を行うことで、指令値 u を生成する。

＜コントローラの演算式＞

$$u(t) = C(\rho) \times r(t) \cdots \text{式(1)}$$

[0017] サーボ機構20は、コントローラ10によって、処理対象物（以下「ワー

ク」ともいう。) に対して所定の処理をするように制御される。サーボ機構 20 には、コントローラ 10 から指令値 $u(t)$ が与えられ、当該入力値の応答として制御量 $y(t)$ が出力される。サーボ機構 20 の伝達関数を P とすると、制御量 $y(t)$ は、以下の式 (2) で表される。

＜サーボ機構の演算式＞

$$y(t) = P \times u(t) \quad \cdots \text{式 (2)}$$

[0018] なお、本実施形態では、サーボ機構 20 は、ワークに対して所定量の圧力でプレスするプレス機械の例を示すが、これに限られない。なお、サーボ機構 20 は、本発明の「制御対象」の一例である。

[0019] 調整器 30 は、コントローラ 10 に与える補正量 ρ を出力する。本実施形態において、調整器 30 は、ワークが有するパラメータのうち、特定のパラメータに基づいて適切な補正量が出力されるように学習された学習済みモデルを有している。例えば、ワークの板厚の大きさを特定のパラメータとしてもよい。この学習済みモデルは、学習装置 40 から提供されるものであってよい。また、調整器 30 は、センサ (不図示) からワークのパラメータを取得してもよい。なお、センサは例えばサーボ機構 20 が有してもよい。

[0020] 学習装置 40 は、学習済みモデルを生成するにあたり、まず、あるパラメータ α を有する処理対象物に対して、制御系を一度実際に動作させて、そのときの目標値 $r(t)$ 、指令値 $u(t)$ 、及び制御量 $y(t)$ の関係を取得する。次に、学習装置 40 は、これら 3 つの値からパラメータ α に対応する補正量候補 ρ^* を算出する。算出した補正量候補 ρ^* とパラメータ α とに基づいて、学習装置 40 は教師データを生成する。この処理を複数のパラメータについて実行することで、学習装置 40 は、各パラメータとそれに対応する補正量候補とを有する教師データを複数生成することができる。そして、学習装置 40 は、生成した一又は複数の教師データを用いて学習を行うことで、学習済みモデルを生成する。なお、生成された教師データを実際に学習に用いるか否かは、所定の採用基準に照らし合わせて決定されてもよい。

[0021] 補正量候補 ρ^* を生成するにあたり、学習装置 40 は、V R F T (Virtual

Reference Feedback Tuning) や F R I T (Fictitious Reference Iterative Tuning)、E R I T (Estimated Response Iterative Turning) 等の、データ駆動制御の手法を用いることができる。データ駆動制御は、制御対象（本実施形態の場合、サーボ機構 20 である。）の動特性モデルを求めることなく、得られたデータを用いて制御パラメータを設定することができる。データ駆動制御の手法を用いることにより、反復実験を行うことなく、すなわちサーボ機構 20 の実際の動作を繰り返し行うことなく、一組の動作データから補正量候補 p^* を生成し、これを教師データとして利用する。これによって、適切な教師データを生成するまでの時間を短縮し、適切な補正量を出力するための学習済みモデルの効率的な生成を可能としている。この結果、学習装置は、処理対象物を準備したり破損させたりすることなく、より効率的に学習を行うことができる。

[0022] § 2 構成例

図 2 乃至図 4 を参照して、学習装置 40 の機能構成の一例を説明する。図 2 は、学習装置 40 の機能構成の一例を示す機能ブロック図である。図 2 に示すように、学習装置 40 は、記憶部 41 と、品質評価部 42 と、学習部 43 と、設定部 44 とを有している。

[0023] 記憶部 41 には、参照モデル T_d と、管理テーブルとが記憶されている。

参照モデル T_d とは、目標値 $r(t)$ に対する制御量 $y(t)$ の理想的な応答の伝達関数を示したものである。参照モデル T_d を用いると、目標値 $r(t)$ に対する理想的な制御量（以下「目標応答」ともいう。） $y_d(t)$ は次式 (3) で表される。

<参照モデル T_d の式>

$$y_d(t) = T_d \times r(t) \quad \cdots (3)$$

[0024] なお、参照モデル T_d は伝達関数に限定されず、サーボ機構 20 をワークのない状態で動作させた際の、目標値 $r(t)$ 、制御量 $y(t)$ に基づいて、機械学習により生成されるモデルを用いてもよい。

[0025] 管理テーブルには、学習部 43 が学習に用いる教師データが管理されてい

る。図3は、管理テーブルの一例を示す図である。教師データは、ワークごとに、入力データとして当該ワークの特定のパラメータ（図3の例では硬さ）と、出力データとして当該ワークに対して指令値を出力する際の最適な補正量（以下「最適補正量」ともいう。）と、が対応付けられたデータである。管理テーブルには、各ワークに対応付けられた最適補正量に基づいて生成された指令値に応答してサーボ機構20が出力した制御量の評価結果（以下「品質評価」ともいう。）が対応付けられている。

[0026] なお、管理テーブルに新たな教師データのレコードが追加された後、当該レコードに対応するワークについて、サーボ機構20が処理をまだ行っていない場合には、管理テーブルの評価結果の欄には例えば未実施が登録されてもよい。

[0027] このように、管理テーブルには、学習部43が学習に用いた教師データと、当該教師データを用いて新たに生成された（又は更新された）学習済みモデルの評価の結果が管理されている。学習済みモデルの評価の結果とは、対応するレコードの教師データに含まれる最適補正量が適切であったか否かを示す指標である。より詳細には、新たに教師データとして追加されたレコードにおける最適補正量について、当該最適補正量に基づいて生成された指令値がサーボ機構20に入力された場合に、応答として出力された制御量が、所定の許容範囲内であるか否かを示す指標である。

[0028] さらに、記憶部41には、学習部43が生成した学習済みモデルLMが記憶されている。記憶部41は、学習部43が生成した学習済みモデルの複数の世代を記憶していることが好ましい。

[0029] 品質評価部42は、コントローラ10及びサーボ機構20から動作データを取得して、制御量の品質を評価する。一例として、品質評価部42は目標値 $r(t)$ に対して与えられた指令値 $u(t)$ への応答としてサーボ機構20から制御量 $y(t)$ が出力された場合について説明する。このとき、品質評価部42は、目標値 $r(t)$ を参照モデルTdに入力し、目標値 $r(t)$ に対する目標応答 $y_d(t)$ を取得する。

[0030] 次に、品質評価部42は、目標応答 $y_d(t)$ 、制御量 $y(t)$ について品質換算を行い品質の代替指標を算出する。例えば品質評価部42は、目標応答 $y_d(t)$ 、制御量 $y(t)$ に対して品質換算を行い下死点位置や整定時間を算出する。より詳細には、品質評価部42は、目標応答 $y_d(t)$ 、制御量 $y(t)$ の最大値から下死点位置を算出する。また、品質評価部42は、目標応答 $y_d(t)$ が目標位置に入った時刻、及び制御量 $y(t)$ が目標位置に入った時刻のそれぞれから指令値が目標位置に到達した時刻を減算することで、それぞれの整定時間を算出する。なお、下死点位置は、サーボ機構20のストローク長が最大となった位置である。また、整定時間は、サーボ機構20のストローク長が整定幅に入ったときから、目標位置に到達するときまでの経過時間であり、整定幅は、目標位置から所定の範囲の幅（例えば目標位置 $\pm 10 \mu m$ である）をいう。

[0031] 品質評価部42は、品質換算して算出した代替指標である下死点位置と整定時間に基づいて、制御量 $y(t)$ の品質評価を行う。例えば、品質評価部42は、下死点位置が目標位置と一致しているか否かや、下死点位置が整定幅に含まれるか否かに基づいて制御量 $y(t)$ が所定の許容範囲内か否かを判定することで品質評価をすることができる。

[0032] また、例えば、品質評価部42は、 $\bar{X}$ -R管理図を用いて制御量 $y(t)$ の品質評価を行ってもよい。 $\bar{X}$ -R管理図は、品質評価対象の平均値の変化とばらつきの変化を管理するための管理図である。図4は、品質評価部42が品質評価に用いる $\bar{X}$ -R管理図のうち $\bar{x}$ 管理図の一例を示している。図4において、縦軸はストローク長を示している。グラフL1、L2は、複数のロット分のワークに対してサーボ機構20が処理を行った際のそれぞれの制御量 $y(t)$ について品質換算して算出した下死点位置の、各ロットにおける平均値をプロットしたものの一例である。図4において、実線は規格値L3の上限及び下限を示し、破線L4は管理値の上限及び下限を示している。規格値は例えば、ワークについて加工を依頼した顧客の要求値である。管理値は、規格値を超えないように管理するための値である。グラフの中

心には、品質の目標値が示されている。グラフL2は、品質が管理値の範囲内にある場合の一例を示すものであり、グラフL1は、品質が規格値内に納まらなかった場合の一例を示すものである。なお、図4の例では、ロットごとにグラフのプロットを行った例を示しているが、各プロットの値はロット単位で算出された値に限定されず、1又は複数のワークに対する処理に基づいて品質換算された値を用いてもよい。品質評価部42は、図4に示す X_{bar} -R管理図において、制御量 $y(t)$ の下死点位置が、管理値の範囲内か否かや、規格値の範囲内か否かに基づいて、制御量 $y(t)$ が所定の許容範囲内か否かを判定することで品質評価をしてもよい。例えば、図4に示す X_{bar} -R管理図等を用いて品質評価を行った結果、制御量 $y(t)$ が所定の許容範囲内か否かに基づいて、上述した図3の管理テーブルにおける品質評価の結果が登録されてもよい。より詳細には、例えば図3の1行目のレコードに登録されている最適補正量候補（図3の例では0.5mm）に基づいて生成された指令値に応答した際に、サーボ機構20から制御量 $y(\beta)$ が出力されたとする。このとき、図4に示す X_{bar} -R管理図を用いて、制御量 $y(\beta)$ の下死点位置が管理値の範囲内か否かや、規格値の範囲内か否かに基づいて、制御量 $y(\beta)$ の品質評価が行われた結果が、図3の管理テーブルの1行目のレコードにおける品質評価の結果として登録される。

[0033] 学習部43は、動作データを用いて算出した補正量候補 ρ^* に基づいて教師データを生成し、学習済みモデルを生成する。学習部43は、補正量候補 ρ^* を算出するにあたり、VRFTやFRIT、ERIT等の、データ駆動制御を用いることが好ましい。データ駆動制御は、制御対象（本実施形態の場合、サーボ機構20である。）の動特性モデルを求めることなくデータを用いて制御パラメータを設定する手法である。VRFT、FRIT及びERITは、反復実験を行うことなく、一組の動作データから補正量を特定可能な手法である。一組の動作データは、目標値 r と、当該目標値に基づいて与えられた指令値と、指令値の応答として出力された制御量である。

[0034] 学習部43の補正量候補生成処理について、より詳細に説明する。例えば

、学習部43は、参照モデル T_d を参照し、サーボ機構20が任意のワーク（以下「ワークX」という。）に対して、任意の指令値 u_{ini} に基づいて動作を行った場合の動作データ（以下、ワークXに対して任意の指令値 u_{ini} に基づいて動作を行った場合の動作データを特に「動作データY」という。）に基づいて、補正量候補 ρ^* を生成する例について説明する。この指令値 u_{ini} は、ある補正量 ρ_{ini} に基づいて目標値 r を補正して生成されるものとする。ここで、動作データYに含まれる目標値を目標値 r とし、指令値を指令値 u_{ini} とし、制御量を制御量 y_{ini} とすると、動作データYは、 $\{r, u_{ini}, y_{ini}\}$ で表される。

[0035] 学習部43は、V R F Tを用いて補正量候補 ρ^* を算出する場合、参照モデル T_d の逆モデル T_d^{-1} を用いて、以下の式（4）により、まず、仮想参照信号を算出する。

[数1]

$$\bar{r} = T_d^{-1} \times y_{ini} \quad \dots \text{式（4）}$$

$\bar{r}$ ：仮想参照信号

[0036] さらに学習部43は、以下の式（5）で表される評価関数 $J_v(\rho)$ を最小化する補正量候補 ρ^* を算出する。なお、式（5）において、 $C(\rho)$ は、上述のコントローラ10の伝達関数を示している。

[数2]

$$J_v(\rho) = \|u_{ini} - C(\rho) \times \bar{r}\| \quad \dots \text{式（5）}$$

[0037] 他方、学習部43は、F R I Tを用いて補正量候補 ρ^* を算出する場合、以下の式（6）により、まず、疑似参照信号を算出する。なお、式（6）において、 $C(\rho)^{-1}$ はコントローラ10の逆伝達関数を示している。

[数3]

$$\tilde{r}(\rho) = C(\rho)^{-1} \times u_{ini} \quad \dots \text{式（6）}$$

$\tilde{r}(\rho)$ ：疑似参照信号

[0038] さらに学習部43は、以下の式（7）で表される評価関数 $J_f(\rho)$ を最小化する補正量候補 ρ^* を算出する。

[数4]

$$Jf(\rho) = \|y_{ini} - Td \times \tilde{r}(\rho)\| \cdots \text{式 (7)}$$

[0039] 学習部43は、算出した補正量候補 ρ^* を最適補正量 ρ' として、ワークXのパラメータとを対応付けて教師データとして管理テーブルに追加する。なお、学習部43は、補正量候補 ρ^* を最適補正量 ρ' に採用するか否かを判定する採否判定を行う構成でもよい。この場合、学習部43は、算出した補正量候補 ρ^* が所定の採用基準を満たすか否かを判定し、満たした場合に最適補正量 ρ' として採用し、管理テーブルに追加する。採用基準は、例えば、算出した補正量候補 ρ^* が、管理テーブルに登録されている教師データに含まれる最適補正量から所定の値以上離れた値（例えば外れ値）でないか否かである。なお、採用基準は、補正量候補 ρ^* が、上記の教師データに含まれる最適候補量の平均値から一定値以上離れた値ではないか、最適候補量の最大値又は最小値から一定値以上離れた値ではないか、でもよい。また、例えば、採用基準は、算出した補正量候補 ρ^* が、管理テーブルに登録されている教師データに含まれる最適補正量の範囲に含まれるか否かでもよい。

[0040] 学習部43は、管理テーブルに登録された教師データに基づいて学習を実行し、学習済みモデルLM*を生成する。なお、学習済みモデルを生成する際に行う学習には、例えば既存のニューラルネットワークや回帰分析の技術を用いてもよい。学習部43は、記憶部41に今回生成した学習済みモデルLM*を追加して記憶させる。なお、学習部43は、記憶部41に記憶されている学習済みモデルLMを今回生成した学習済みモデルLM*で上書きする構成でもよい。

[0041] なお、学習部43は、補正量候補 ρ^* を生成するにあたり、学習要否判定を行う構成でもよい。この場合、学習部43は、所定の学習要否判定基準を満たすか否かを判定し、満たしたときに、学習を行うために補正量候補 ρ^* を生成する。所定の学習要否判定基準は、例えば、動作データYに対する品質評価部42の結果が許容範囲内であるか否かである。また、所定の学習要否判定基準は、ワークXのパラメータが過去に学習した、すなわち、現在、調整

器 30 に設定されている学習済みモデルにおいて学習したパラメータの範囲外であるか否かでもよい。他にも、所定の学習要否判定基準は、ワーク X に対して動作を行った際にサーボ機構 20 の外部環境が、それ以前の外部環境から変化したか否かでもよい。この場合、学習部 43 は、ユーザの任意の入力に基づいて、外部環境の変化を検出してもよいし、サーボ機構 20 の外部環境を含む画像データをセンサから取得して、取得した画像データに基づいて、外部環境の変化を検出してもよい。

[0042] 設定部 44 は、学習部 43 が生成した学習済みモデル $L M^*$ を調整器 30 へ設定する。このとき設定部 44 は、学習済みモデル $L M^*$ を設定する前に、学習済みモデル $L M^*$ の品質を評価し、評価結果に基づいて、調整器 30 に設定するか否かを判定してもよい。

[0043] 学習済みモデル $L M^*$ の評価とは、例えば、ワーク X のパラメータと最適補正量 ρ^* とを教師データとして、学習部 43 が追加学習を行い、新たに学習済みモデル $L M^*$ を生成したとする。このとき設定部 44 は、ワーク X と同様のパラメータを有するワークがサーボ機構 20 に与えられた際に、学習した最適補正量 ρ^* をコントローラ 10 に提供する。コントローラ 10 では、最適補正量 ρ^* に基づいて指令値 $u(x)$ を生成し、サーボ機構 20 に出力する。サーボ機構 20 が指令値 $u(x)$ への応答として出力した制御量 $y(x)$ について、品質評価部 42 が品質評価を行う。品質評価の結果、制御量 $y(x)$ が所定の許容範囲内であれば、設定部 44 は調整器 30 に新たに生成された学習済みモデル $L M^*$ を設定することができる。他方、所定の許容範囲に満たなかった場合には、設定部 44 は、一世代前の学習済みモデル $L M$ を選択して、調整器 30 に設定する構成でもよい。なお、今回生成した学習済みモデル $L M^*$ の品質が所定の許容範囲に満たなかった場合において、すでに調整器 30 に学習済みモデルが設定されている場合には、設定部 44 は学習済みモデルの更新を行わなくてもよい。

[0044] なお、記憶部 41 に評価が未実施の学習済みモデル $L M^*$ が複数登録されている場合には、設定部 44 は、例えば、新しく生成された順に学習済みモデル

ル $L M^*$ の評価を行い、評価の結果が最初に許容範囲内に納まった学習済みモデル $L M^*$ を選択して調整器 30 に設定してもよい。また例えば、設定部 44 は、すべての学習済みモデル $L M^*$ の評価を実施して、評価結果がもっともよかった学習済みモデル $L M^*$ を選択して調整器 30 に設定してもよい。

[0045] なお、設定部 44 は、評価が所定の許容範囲に満たなかった学習済みモデル $L M^*$ を記憶部 41 から削除してもよい。

[0046] このように設定部 44 が、新たに生成（又は更新）された学習済みモデル $L M^*$ について、調整器 30 に実際に設定する前に、評価を実施することで、制御システム 1 の処理精度が低下してしまうことを防ぐことができる。

[0047] § 3 動作フロー

図 5 を参照して、本実施形態に係る制御システム 1 の処理フローの一例について説明する。まず、学習装置 40 は、参照モデル T_d を生成する（S101）。このとき、学習装置 40 は、基準とする動作データ $[r, y_d]$ を取得する。基準となる動作データは、例えば、ワークなし動作を行った場合の、目標値 r と、サーボ機構 20 の制御量 y としてよい。取得した動作データ $[r, y_d]$ に基づいて、学習装置 40 は、参照モデル T_d を生成する。

[0048] 次に、ワークが与えられた場合（S101：YES）、目標値に対する補正量の初期値 p_{ini} を設定する（S102）。補正量の初期値 p_{ini} は、ユーザが手動で設定してもよい。また、すでに調整器 30 に学習済みモデルが設定されている場合には、当該学習済みモデルが生成してもよい。

[0049] コントローラ 10 では、設定された補正量 p_{ini} に基づいて指令値 u_{ini} が生成され、サーボ機構 20 に出力される。サーボ機構 20 では、指令値 u_{ini} への応答として制御量 y_{ini} が出力される。学習装置 40 は、このときの動作データ $[r, u_{ini}, y_{ini}]$ を取得する（S103）。

[0050] 次に、学習の要否が判定される（S104）。例えば、学習部 43 は、取得された動作データ $[r, u_{ini}, y_{ini}]$ について、品質評価部 42 が行った品質評価の結果に基づいて、要否を判定することができる。なお、学習の要否の判定基準はこれに限定されず、今回のワークのパラメータが過去

に学習したパラメータの範囲内か否かや、外部環境が変化したか否かを判定基準に用いてもよい。また例えば、学習の要否は人が判定してもよい。

- [0051] 学習が不要と判定された場合（S104：NO）には、S101に戻り、次のワークに対して処理が行われる。他方、学習が必要と判定された場合（S104：YES）には、学習部43は、参照モデルTdを参照し、補正量候補 ρ^* を生成する（S105）。学習部43は補正量候補 ρ^* を生成する際に、VRFTやFRIT、ERIT等の手法を用いることができる。
- [0052] 次に、学習部43は、生成した補正量候補 ρ^* と、S102でサーボ機構20に与えられたワークのパラメータとを対応付けて教師データとして追加するか否かを判定する（S106）。追加するか否かを判定する採用基準は、例えば、算出した補正量候補 ρ^* が、管理テーブルに登録されている教師データに含まれる補正量から所定の値以上離れた値でないか否かである。また、例えば、採用基準は、算出した補正量候補 ρ^* が、管理テーブルに登録されている教師データに含まれる補正量の範囲に含まれるか否かでもよい。
- [0053] 追加すると判定した場合（S106：YES）には、学習部43は、教師データとして、生成した補正量候補 ρ^* を最適補正量 ρ^* として、S102でサーボ機構20に与えられたワークのパラメータと対応付けてレコードを生成し、管理テーブルに追加する（S107）。他方、追加しないと判定した場合（S106：NO）には、S101に戻り、次のワークに対して処理が行われる。なお、学習部43は、S106の判定を行わず、生成した補正量候補 ρ^* はそのまま最適補正量 ρ^* として、教師データを生成し、管理テーブルに追加する構成でもよい。
- [0054] 教師データを追加すると、学習部43は、追加学習を実施して、学習済みモデルを新たに生成（又は更新）する（S108）。
- [0055] 次に、設定部44は、生成された学習済みモデルを調整器30に設定するか否かを判定する（S109）。一例として、設定部44は、学習した最適補正量 ρ^* に基づいて補正された指令値を、サーボ機構20に与えたときの制御量について、品質評価部42の評価結果に基づいて、学習済みモデルを

調整器 30 に設定するか否かを判定してもよい。

[0056] 品質評価が所定の許容範囲内である場合には、設定部 44 は、新たに生成された学習済みモデルを調整器 30 に設定する (S110)。他方、品質評価が許容範囲に満たない場合には、S101 に戻り、次のワークに対して処理が行われる。なお、設定部 44 は、S109 の処理を行わず、新たに生成された学習済みモデルを、そのまま調整器 30 に設定する構成でもよい。

[0057] § 4 利点

本実施形態に係る制御システム 1 では、学習装置 40 が、指令値に従い処理対象に対して処理を行ったサーボ機構 20 の制御量と、コントローラ 10 が生成した目標値及び指令値とを含む動作データに基づいて、補正量候補を生成する。学習装置 40 では、生成した補正量候補が所定の採用基準を満たした場合には、当該補正量候補を教師データとして採用し、学習済みモデルを生成を行う。学習装置 40 は、補正量候補を生成するにあたり、VRFT や FRIT、ERIT 等のデータ駆動制御の手法により、制御対象の動特性モデルを求めることなく補正量を調整することが好ましい。VRFTFRIT、ERIT は、反復実験を行うことなく、すなわち制御対象の実際の動作を返し行うことなく、一組の動作データから補正量 ρ を特定可能な手法である。学習装置 40 が、反復実験を行うことなく補正量候補を生成することにより、処理対象物を準備したり破損したりすることなく効率的に学習をすることができ、適切な教師データを生成するまでの時間を短縮することができる。

[0058] § 5 ハードウェア構成

次に、図 6 を参照しながら、上述してきた学習装置 40 をコンピュータ 800 により実現する場合のハードウェア構成の一例を説明する。なお、それぞれの装置の機能は、複数台の装置に分けて実現することもできる。

[0059] 図 6 に示すように、コンピュータ 800 は、プロセッサ 801、メモリ 803、記憶装置 805、入力 I/F 部 807、データ I/F 部 809、通信 I/F 部 811、及び表示装置 813 を含む。

- [0060] プロセッサ801は、メモリ803に記憶されているプログラムを実行することによりコンピュータ800における様々な処理を制御する。例えば、学習装置40の品質評価部42と、学習部43と、設定部44などは、メモリ803に一時記憶された上で、主にプロセッサ801上で動作するプログラムとして実現可能である。すなわち、プロセッサ801がメモリ803に一時記憶されたプログラムを解釈実行することにより、品質評価部42と、学習部43と、設定部44の働きが実現される。
- [0061] メモリ803は、例えばRAM (Random Access Memory) 等の記憶媒体である。メモリ803は、プロセッサ801によって実行されるプログラムのプログラムコードや、プログラムの実行時に必要となるデータを一時的に記憶する。
- [0062] 記憶装置805は、例えばハードディスクドライブ (HDD) やフラッシュメモリ等の不揮発性の記憶媒体である。記憶装置805は、オペレーティングシステムや、上記各構成を実現するための各種プログラムを記憶する。この他、記憶装置805は、参照モデルTdや管理テーブルを記憶することも可能である。このようなプログラムやデータは、必要に応じてメモリ803にロードされることにより、プロセッサ801から参照される。
- [0063] 入力I/F部807は、ユーザからの入力を受け付けるためのデバイスである。入力I/F部807の具体例としては、キーボードやマウス、タッチパネル、各種センサ、ウェアラブル・デバイス等が挙げられる。入力I/F部807は、例えばUSB (Universal Serial Bus) 等のインタフェースを介してコンピュータ800に接続されても良い。
- [0064] データI/F部809は、コンピュータ800の外部からデータを入力するためのデバイスである。データI/F部809の具体例としては、各種記憶媒体に記憶されているデータを読み取るためのドライブ装置等がある。データI/F部809は、コンピュータ800の外部に設けられることも考えられる。その場合、データI/F部809は、例えばUSB等のインタフェースを介してコンピュータ800へと接続される。

[0065] 通信 I / F 部 8 1 1 は、コンピュータ 8 0 0 の外部の装置と有線又は無線により、インターネット N を介したデータ通信を行うためのデバイスである。通信 I / F 部 8 1 1 は、コンピュータ 8 0 0 の外部に設けられることも考えられる。その場合、通信 I / F 部 8 1 1 は、例えば USB 等のインタフェースを介してコンピュータ 8 0 0 に接続される。

[0066] 表示装置 8 1 3 は、各種情報を表示するためのデバイスである。表示装置 8 1 3 の具体例としては、例えば液晶ディスプレイや有機 EL (Electro-Luminescence) ディスプレイ、ウェアラブル・デバイスのディスプレイ等が挙げられる。表示装置 8 1 3 は、コンピュータ 8 0 0 の外部に設けられても良い。その場合、表示装置 8 1 3 は、例えばディスプレイケーブル等を介してコンピュータ 8 0 0 に接続される。

[0067] § 6 他の実施形態

図 7 を参照して、本発明の他の実施形態に係る制御システム 2 の構成を説明する。図 7 は、制御システム 2 の構成の一例を示す図である。なお、既述の実施形態と共通の事柄についての記述は省略し、異なる点についてのみ説明する。特に、既述の構成には同様の符号を付し、同様の構成による同様の作用効果については実施形態毎には逐次言及しない。

[0068] 制御システム 2 は、制御システム 1 におけるコントローラ 1 0 に代えて、コントローラ 1 1、を有している。また、調整器 3 0 は、コントローラ 1 1 に対して補正量 ρ を入力する。その他の構成、機能は既述の実施形態と同様である。

[0069] コントローラ 1 1 は、調整器 3 0 から入力された補正量 ρ を、生成した目標値 $r(t)$ に加えて指令値 $u(t)$ を生成し、サーボ機構 2 0 に入力する。つまり、コントローラ 1 1 の演算式は以下の式 (8) である。

$$u(t) = r(t) + \rho \cdots \text{式 (8)}$$

[0070] コントローラ 1 1 によると、伝達関数を用いずに、単純に目標値と補正量とを加算して指令値を算出することができる。これにより伝達関数の設計が不要になるため、制御モデルの設計が容易になる。

[0071] 以上、本発明の実施の形態を詳細に説明してきたが、前述までの説明はあらゆる点において本発明の例示に過ぎない。本発明の範囲を逸脱することなく種々の改良や変形を行うことができることは言うまでもない。

[0072] なお、前述までの説明では、学習装置40は、学習済みモデルを新たに生成する構成として説明したが、既存の学習済みモデルを更新する構成としてもよい。学習済みモデルを新たに生成する構成の場合、学習装置40は、既存の学習済みモデルを生成したときに用いた教師データに、今回新たに生成した教師データを加えたデータセットを用いた学習により、新たな学習済みモデルを生成することができる。他方、学習済みモデルを更新する構成の場合、学習装置40は、既存の学習済みモデルに対して、今回新たに生成した教師データを用いて追加学習させることで、学習済みモデルを更新することができる。

[0073] 前述の実施形態の一部又は全部は、以下の付記のように記載され得るが、以下には限定されない。

(付記1)

補正量 (ρ) に基づいて目標値 (r) を補正した指令値 (u) を出力するコントローラ (10) と、

処理対象物に対して所定の処理をするよう制御される制御対象 (20) であって、前記コントローラ (10) から出力される指令値 (u) が入力され、当該指令値 (u) の応答として制御量が出力される制御対象 (20) と、を備える制御系 (1) において、

前記処理対象物の特定のパラメータに基づいて、前記コントローラ (10) に対して所定の補正量 (ρ) を出力するように学習された学習済みモデルを含む調整器 (30) に対して、前記学習済みモデルを提供する学習装置 (40) であって、

前記目標値 (r)、前記指令値 (u) 及び前記制御量 (y) を含む動作データに基づいて、補正量候補 (ρ^*) を生成し、生成した補正量候補 (ρ^*) と、前記処理対象物の特定のパラメータとを教師データとして学習を行い、

学習済みモデルを生成又は更新する学習部（４３）と、

前記生成又は更新された学習済みモデルを、前記調整器（３０）に提供する設定部（４４）と、

を備える学習装置（４０）。

（付記２）

前記学習部は、データ駆動制御によって前記補正量候補を生成する、付記１に記載の学習装置。

（付記３）

前記データ駆動制御は、

V R F T、F R I T又はE R I Tのいずれかである、

付記２に記載の学習装置（４０）。

（付記４）

前記学習部（４３）は、

生成した前記補正量候補（ ρ^* ）が、前記学習済みモデルが学習に用いた教師データに含まれる補正量候補（ ρ^* ）から所定の閾値以上離れた値でない場合、又は、前記学習済みモデルが学習に用いた教師データに含まれる補正量候補（ ρ^* ）の範囲内である場合に、当該補正量候補を教師データとして採用する、

付記１乃至３の何れか一項に記載の学習装置（４０）。

（付記５）

前記学習済みモデルが出力した補正量（ ρ ）に基づいて目標値（ r ）を補正した指令値（ u ）を、前記制御対象（２０）に与えたときの制御量（ y ）を含む動作データを取得して、前記制御量の品質を評価する評価部（４２）をさらに備え、

前記学習部（４３）は、

前記品質の評価が、許容範囲に満たない場合に、前記学習を行う、

付記１乃至４の何れか一項に記載の学習装置（４０）。

（付記項６）

前記学習部（４３）は、

前記処理対象物の前記特定のパラメータが、前記教師データとしてすでに学習されたパラメータから所定の閾値以上離れた値である場合に前記学習を行う、

付記１乃至５の何れか一項に記載の学習装置（４０）。

（付記７）

補正量（ ρ ）に基づいて目標値（ r ）を補正した指令値（ u ）を出力するコントローラ（１０）と、

処理対象物に対して所定の処理をするよう制御される制御対象（２０）であって、前記コントローラ（１０）から出力される指令値（ u ）が入力され、当該指令値（ u ）の応答として制御量が出力される制御対象（２０）と、を備える制御系（１）において、

前記処理対象物の特定のパラメータに基づいて、前記コントローラ（１０）に対して所定の前記補正量（ ρ ）を出力するように学習された学習済みモデルを含む調整器（３０）に対して、前記学習済みモデルを提供する学習装置（４０）において実行される学習方法であって、

前記学習装置（４０）が、

前記目標値（ r ）、前記指令値（ u ）及び前記制御量（ y ）を含む動作データに基づいて、補正量候補（ ρ^* ）を生成し、生成した補正量候補（ ρ^* ）と、前記処理対象物の特定のパラメータとを教師データとして学習を行い、学習済みモデルを生成又は更新するステップと、

前記生成又は更新された学習済みモデルを、前記調整器（３０）に提供するステップと、

を実行する学習方法。

（付記８）

補正量（ ρ ）に基づいて目標値（ r ）を補正した指令値（ u ）を出力するコントローラ（１０）と、

処理対象物に対して所定の処理をするよう制御される制御対象（２０）で

あって、前記コントローラ（１０）から出力される指令値（ u ）が入力され、当該指令値（ u ）の応答として制御量が出力される制御対象（２０）と、を備える制御系（１）において、

前記処理対象物の特定のパラメータに基づいて、前記コントローラ（１０）に対して所定の前記補正量（ ρ ）を出力するように学習された学習済みモデルを含む調整器（３０）に対して、前記学習済みモデルを提供する学習装置（４０）を機能させるプログラムであって、

前記学習装置（４０）を、

前記目標値（ r ）、前記指令値（ u ）及び前記制御量（ y ）を含む動作データに基づいて、補正量候補（ ρ^* ）を生成し、生成した補正量候補（ ρ^* ）と、前記処理対象物の特定のパラメータとを教師データとして学習を行い、学習済みモデルを生成又は更新する手段（４３）、及び

前記生成又は更新された学習済みモデルを、前記調整器（３０）に提供する手段（４４）と、

して機能させるプログラム。

請求の範囲

- [請求項1] 補正量に基づいて目標値を補正した指令値を出力するコントローラと、
- 処理対象物に対して所定の処理をするよう制御される制御対象であって、前記コントローラから出力される指令値が入力され、当該指令値の応答として制御量が出力される制御対象と、
- を備える制御系において、
- 前記処理対象物の特定のパラメータに基づいて、前記コントローラに対して所定の前記補正量を出力するように学習された学習済みモデルを含む調整器に対して、前記学習済みモデルを提供する学習装置であって、
- 前記目標値、前記指令値及び前記制御量を含む動作データに基づいて、補正量候補を生成し、生成した補正量候補と、前記処理対象物の特定のパラメータとを教師データとして学習を行い、学習済みモデルを生成又は更新する学習部と、
- 前記生成又は更新された学習済みモデルを、前記調整器に提供する設定部と、
- を備える学習装置。
- [請求項2] 前記学習部は、データ駆動制御によって前記補正量候補を生成する、
- 請求項1に記載の学習装置。
- [請求項3] 前記データ駆動制御は、V R F T、F R I T又はE R I Tのいずれかである、
- 請求項2に記載の学習装置。
- [請求項4] 前記学習部は、
- 生成した前記補正量候補が、前記学習済みモデルが学習に用いた教師データに含まれる補正量候補から所定の閾値以上離れた値でない場合、又は、前記学習済みモデルが学習に用いた教師データに含まれる

補正量候補の範囲内である場合に、当該補正量候補を教師データとして採用する、

請求項 1 乃至 3 の何れか一項に記載の学習装置。

[請求項5] 前記学習済みモデルが出力した補正量に基づいて目標値を補正した指令値を、前記制御対象に与えたときの制御量を含む動作データを取得して、前記制御量の品質を評価する評価部

をさらに備え、

前記学習部は、

前記品質の評価が、許容範囲に満たない場合に、前記学習を行う、
請求項 1 乃至 4 の何れか一項に記載の学習装置。

[請求項6] 前記学習部は、

前記処理対象物の前記特定のパラメータが、前記教師データとしてすでに学習されたパラメータから所定の閾値以上離れた値である場合に前記学習を行う、

請求項 1 乃至 4 の何れか一項に記載の学習装置。

[請求項7] 補正量に基づいて目標値を補正した指令値を出力するコントローラと、

処理対象物に対して所定の処理をするよう制御される制御対象であって、前記コントローラから出力される指令値が入力され、当該指令値の応答として制御量が出力される制御対象と、

を備える制御系において、

前記処理対象物の特定のパラメータに基づいて、前記コントローラに対して所定の前記補正量を出力するように学習された学習済みモデルを含む調整器に対して、前記学習済みモデルを提供する学習装置において実行される学習方法であって、

前記学習装置が、

前記目標値、前記指令値及び前記制御量を含む動作データに基づいて、補正量候補を生成し、生成した補正量候補と、前記処理対象物の

特定のパラメータとを教師データとして学習を行い、学習済みモデルを生成又は更新するステップと、

前記生成又は更新された学習済みモデルを、前記調整器に提供するステップと、

を実行する学習方法。

[請求項8] 補正量に基づいて目標値を補正した指令値を出力するコントローラと、

処理対象物に対して所定の処理をするよう制御される制御対象であって、前記コントローラから出力される指令値が入力され、当該指令値の応答として制御量が出力される制御対象と、

を備える制御系において、

前記処理対象物の特定のパラメータに基づいて、前記コントローラに対して所定の補正量を出力するように学習された学習済みモデルを含む調整器に対して、前記学習済みモデルを提供する学習装置を機能させるプログラムであって、

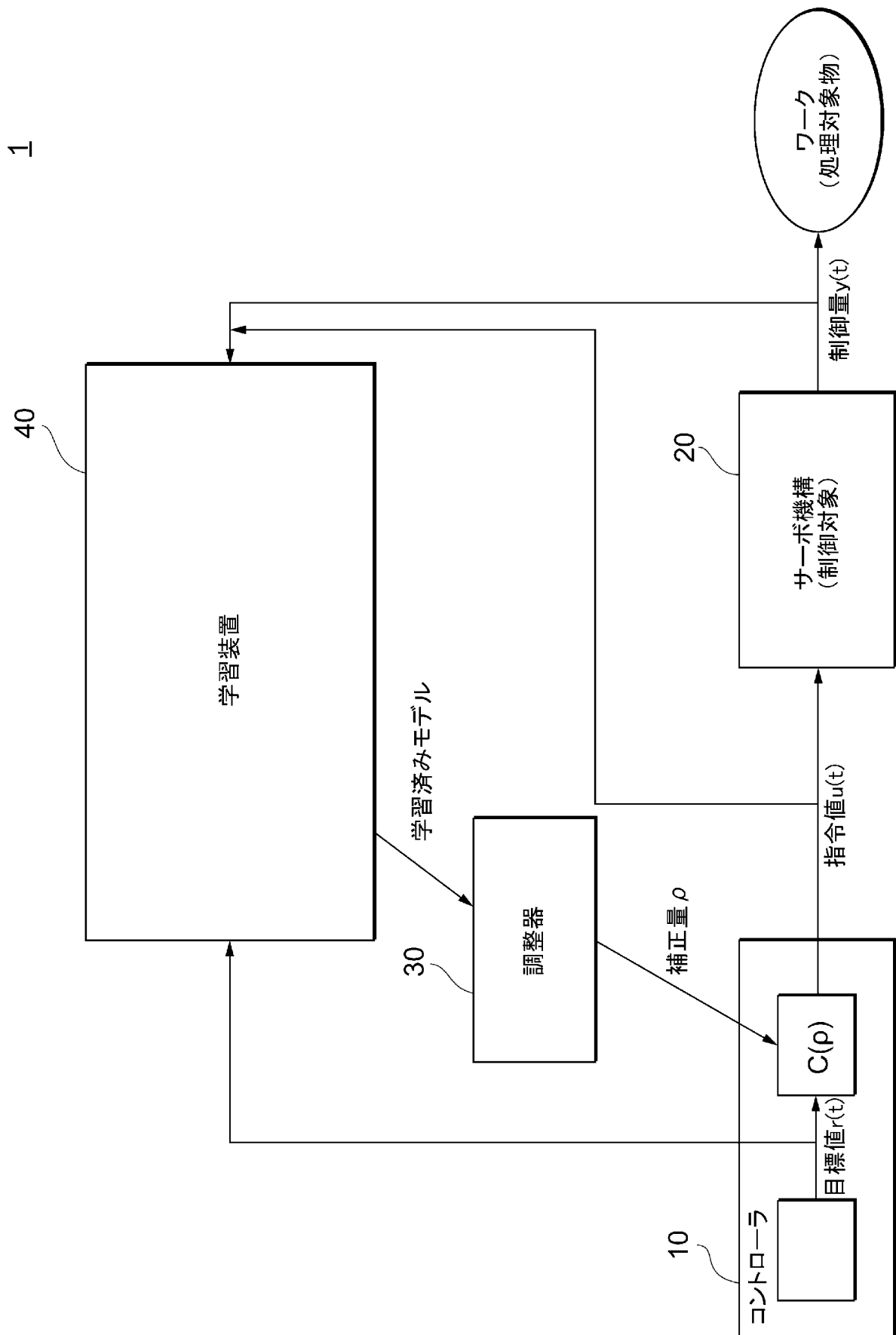
前記学習装置を、

前記目標値、前記指令値及び前記制御量を含む動作データに基づいて、補正量候補を生成し、生成した補正量候補と、前記処理対象物の特定のパラメータとを教師データとして学習を行い、学習済みモデルを生成又は更新する手段、及び

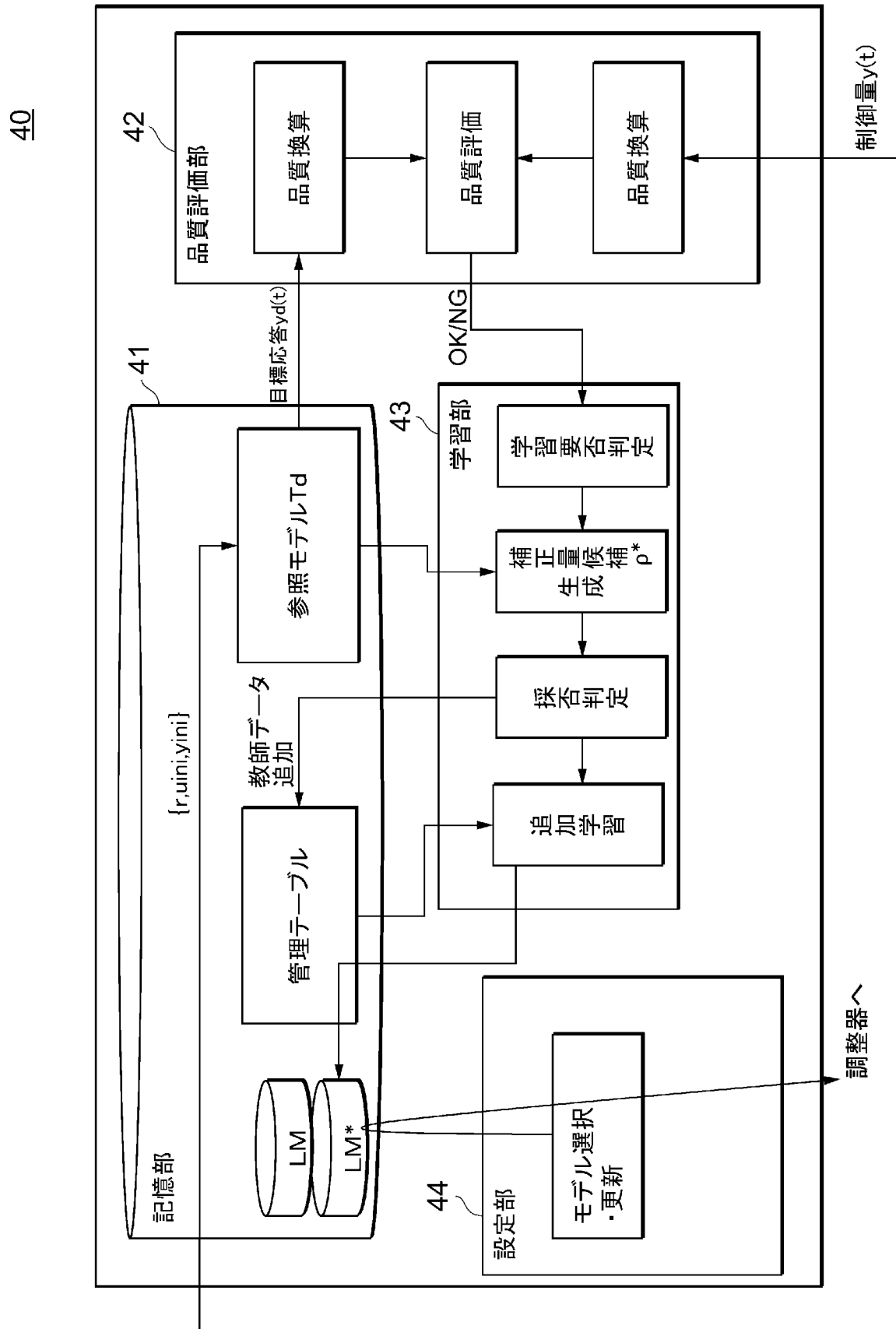
前記生成又は更新された学習済みモデルを、前記調整器に提供する手段、

として機能させるプログラム。

[図1]



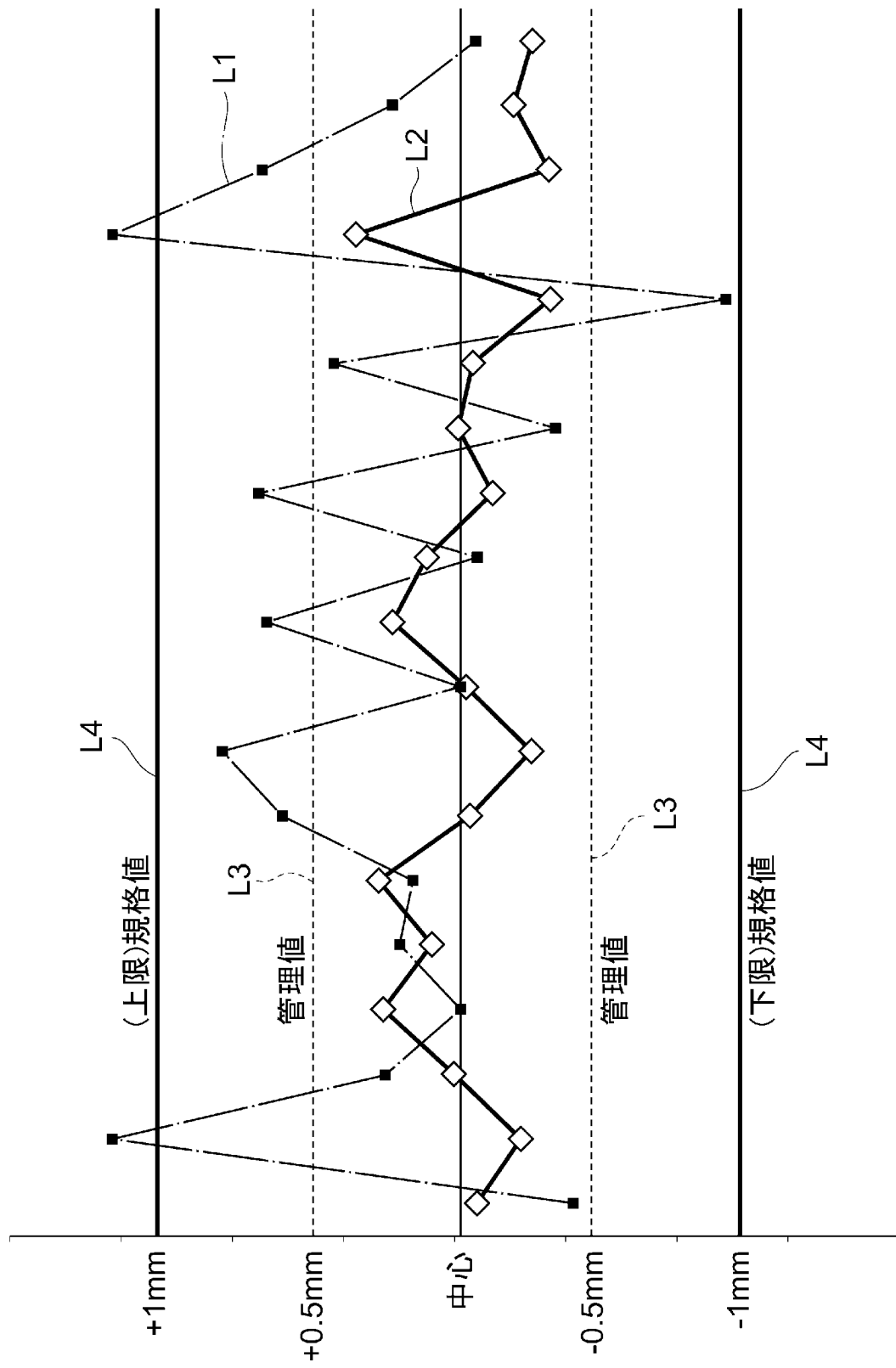
[図2]



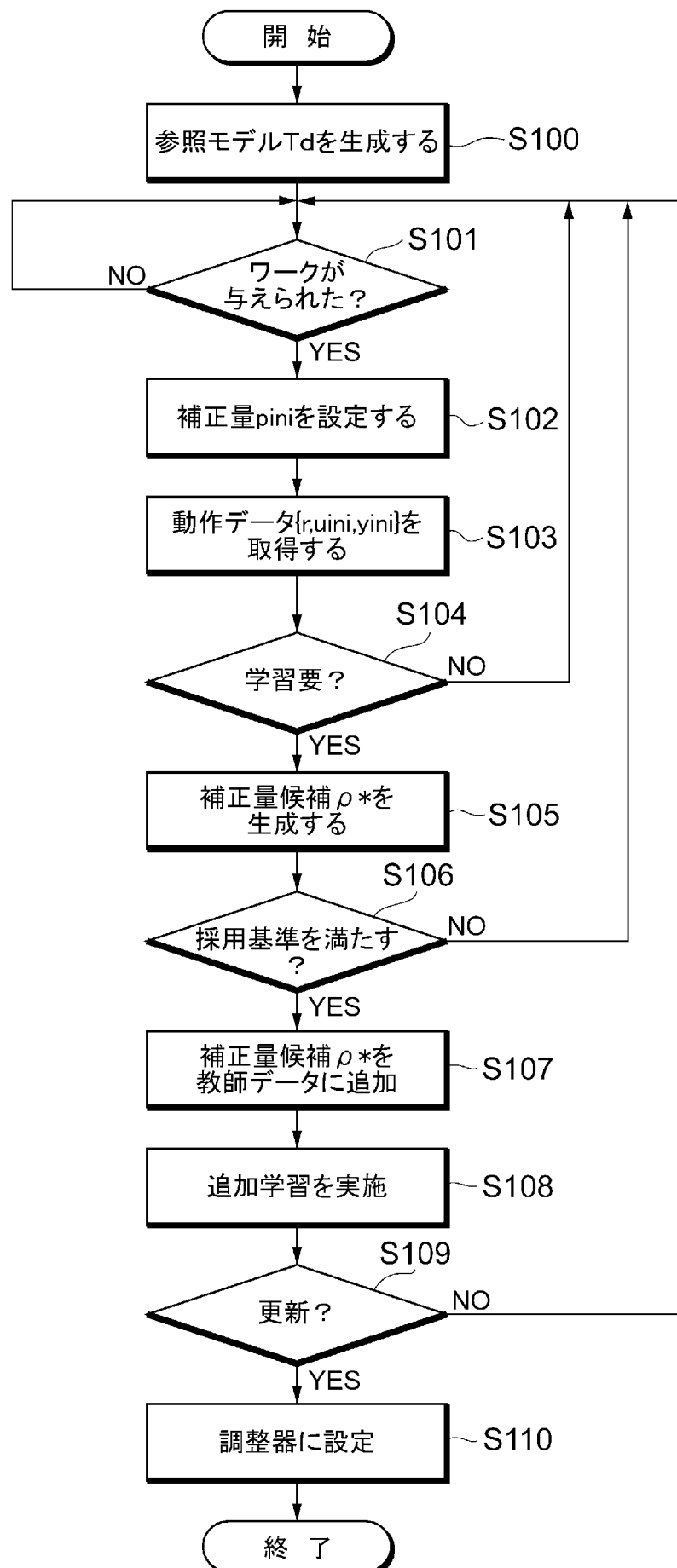
[図3]

	IN(硬さ)	OUT(最適補正量)	品質評価
処理対象物1 (既知)	3	0.5[mm]	OK
処理対象物2 (既知)	5	4.0[mm]	OK
処理対象物3 (既知)	10	12.0[mm]	OK
処理対象物4 (未知)	11	ρ^*	未実施

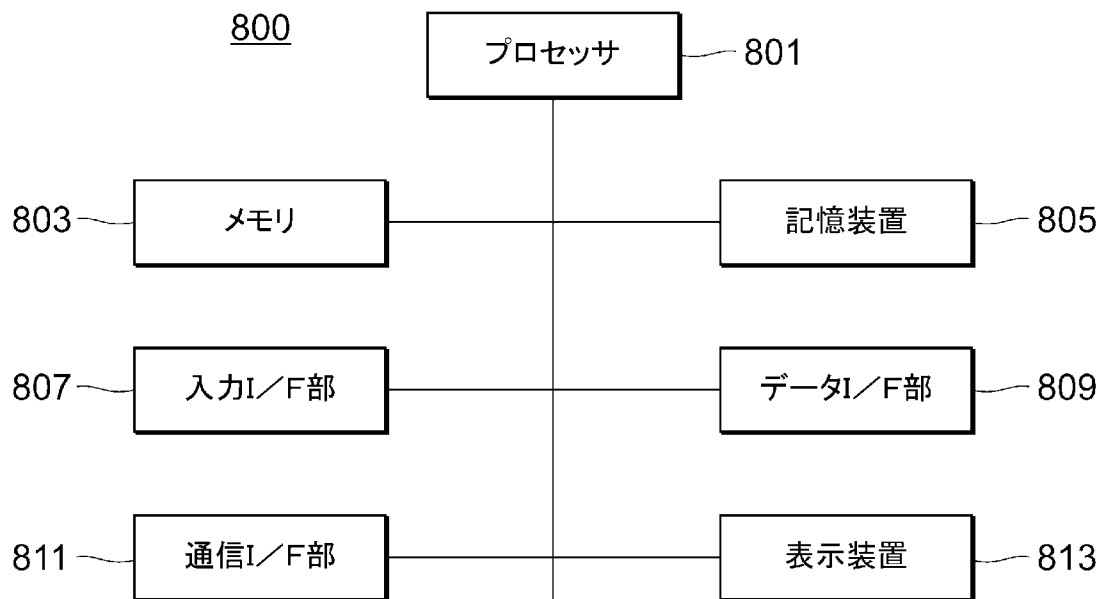
[図4]



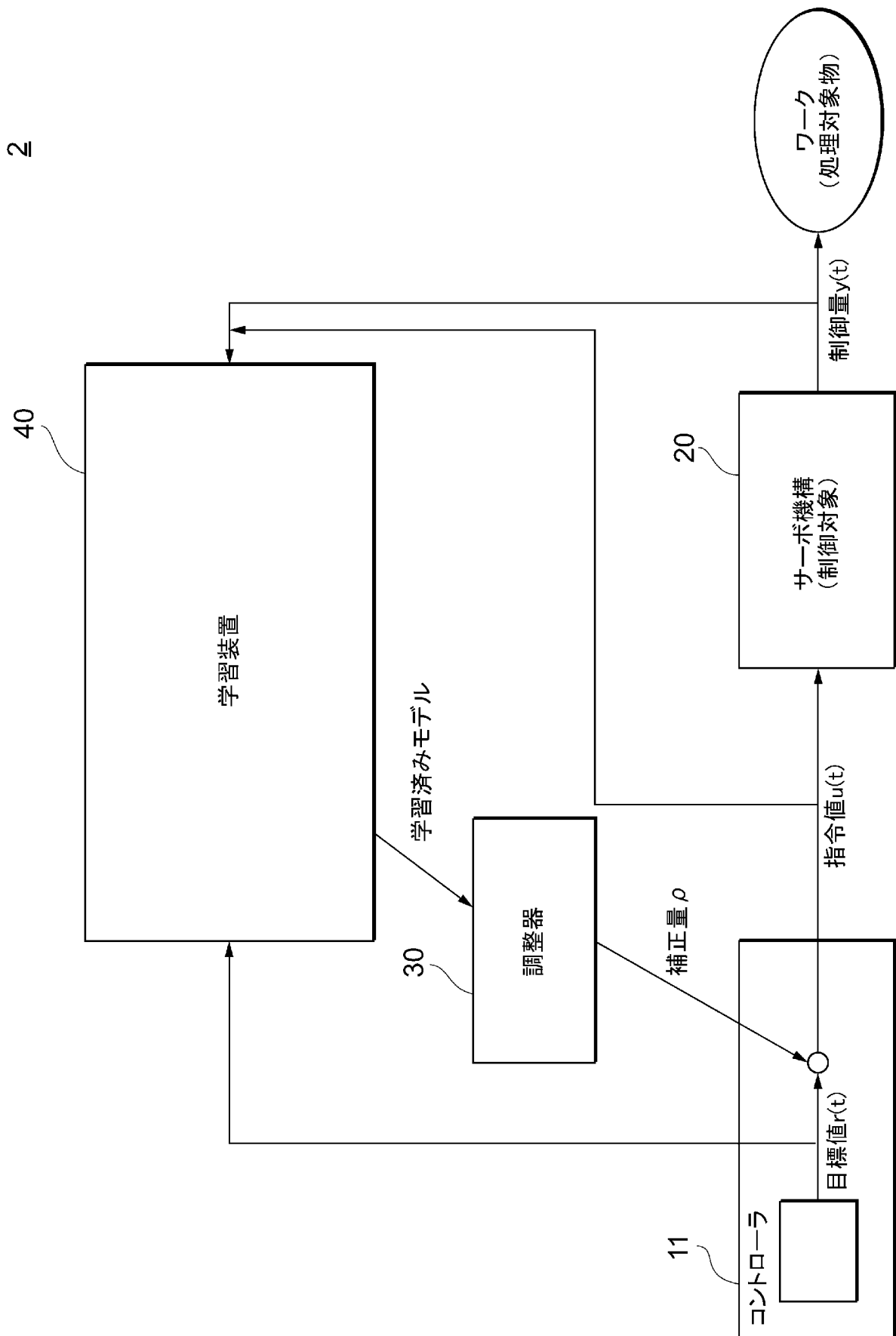
[図5]



[図6]



[図7]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2019/008649

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl. G05B13/02 (2006.01) i, G06N20/00 (2019.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl. G05B13/02, G06N20/00

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Published examined utility model applications of Japan 1922-1996

Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2019

Registered utility model specifications of Japan 1996-2019

Published registered utility model applications of Japan 1994-2019

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2017-68658 A (BROTHER INDUSTRIES, LTD.) 06 April 2017, paragraphs [0030]-[0104], fig. 1-17 & US 2017/0090444 A1, paragraphs [0033]-[0108], fig. 1-17	1-8
A	JP 2015-18388 A (TOSHIBA MITSUBISHI-ELECTRIC INDUSTRIAL SYSTEM CORP.) 29 January 2015, paragraphs [0014]-[0050], fig. 1-3 (Family: none)	1-8

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"&" document member of the same patent family
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search
18.04.2019

Date of mailing of the international search report
07.05.2019

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2019/008649

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 2017/094424 A1 (OMRON CORPORATION) 08 June 2017, paragraphs [0012]-[0072], fig. 1-11 & US 2018/0231943 A1, paragraphs [0022]-[0092], fig. 1-11 & EP 3385796 A1 & CN 107850874 A & JP 2017-102624 A	1-8

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. G05B13/02(2006.01)i, G06N20/00(2019.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. G05B13/02, G06N20/00

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2019年
日本国実用新案登録公報	1996-2019年
日本国登録実用新案公報	1994-2019年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 2017-68658 A（ブラザー工業株式会社） 2017.04.06, 段落[0030]-[0104], 図 1-17 & US 2017/0090444 A1, 段落[0033]-[0108], 図 1-17	1-8
A	JP 2015-18388 A（東芝三菱電機産業システム株式会社） 2015.01.29, 段落[0014]-[0050], 図 1-3 (ファミリーなし)	1-8

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。

☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

18.04.2019

国際調査報告の発送日

07.05.2019

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（ISA/J P）

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官（権限のある職員）

大古 健一

3U

1180

電話番号 03-3581-1101 内線 3364

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	WO 2017/094424 A1 (オムロン株式会社) 2017.06.08, 段落[0012]-[0072], 図 1-11 & US 2018/0231943 A1, 段落[0022]-[0092], 図 1-11 & EP 3385796 A1 & CN 107850874 A & JP 2017-102624 A	1-8